

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international

Rec'd PCT/PTO 10 SEP 2004

(43) Date de la publication internationale  
2 octobre 2003 (02.10.2003)

PCT

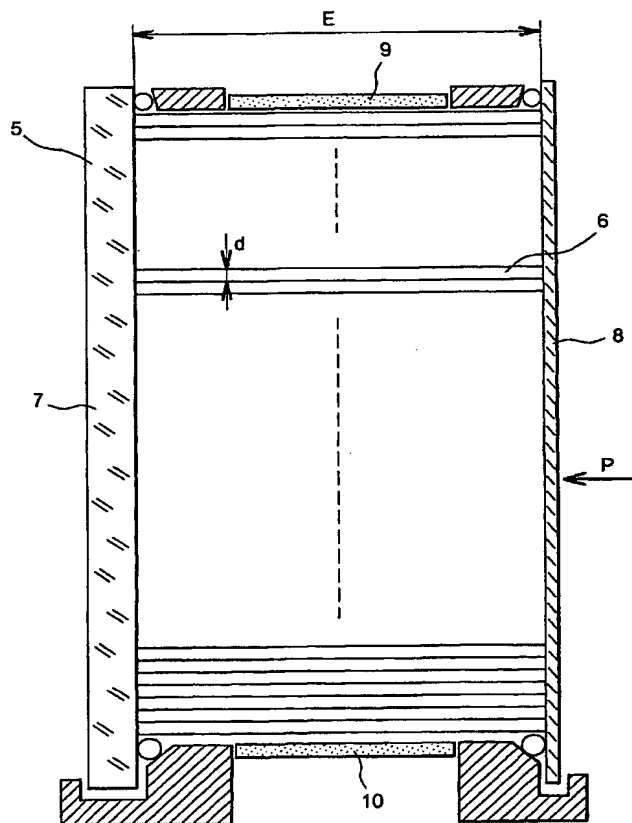
(10) Numéro de publication internationale  
WO 03/081279 A2

- (51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : **G01T** (72) Inventeurs; et  
(21) Numéro de la demande internationale : **PCT/FR03/00919** (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **DISDIER, Laurent** [FR/FR]; 8, rue de l'Etang, F-78470 Saint-Remy les Chevreuse (FR). **FEDOTOFF, Alexandre** [FR/FR]; 14, Sente des Vignes, F-91530 Saint Cheron (FR).  
(22) Date de dépôt international : 24 mars 2003 (24.03.2003) (74) Mandataire : **LEHU, Jean**; c/o Brevatome, 3, rue du Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).  
(25) Langue de dépôt : français (81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.  
(26) Langue de publication : français  
(30) Données relatives à la priorité : 02/03749 26 mars 2002 (26.03.2002) FR  
(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE** [FR/FR]; 31/33, rue de la Fédération, F-75752 Paris 15ème (FR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: TWO-DIMENSIONAL IONISING PARTICLE DETECTOR

(54) Titre : DETECTEUR BIDIMENSIONNEL DE PARTICULES IONISANTES.



(57) Abstract: The invention relates to a two-dimensional ionising particle detector comprising a matrix of detecting fibres, each detecting fibre forming a pixel of the detector. One detecting fibre comprises a glass capillary which is filled with liquid scintillator having a chemical composition which is selected such that the mean free path of primary scintillation photons is negligible compared to the diameter of the capillary (d). The invention is suitable, for example, for the imaging of particles with high resolution power.

(57) Abrégé : L'invention concerne un détecteur bidimensionnel de particules ionisantes comprenant une matrice de fibres détectrices, chaque fibre détectrice constituant un pixel du détecteur. Une fibre détectrice est constituée d'un capillaire de verre rempli de scintillateur liquide dont la composition chimique est choisie de façon que le libre parcours moyen de photons de scintillation primaire soit négligeable devant le diamètre du capillaire (d). L'invention s'applique, par exemple, à l'imagerie de particules à fort pouvoir de résolution.



(84) États désignés (*régional*) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport*

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

## DETECTEUR BIDIMENSIONNEL DE PARTICULES IONISANTES

Domaine technique et art antérieur.

L'invention concerne un détecteur  
5 bidimensionnel de particules ionisantes.

L'invention s'applique, par exemple, au domaine de l'imagerie de particules à fort pouvoir de pénétration.

L'imagerie de particules à fort pouvoir de  
10 pénétration (par exemple les neutrons rapides ou les rayons gamma) requiert des détecteurs ayant une bonne résolution et un pouvoir d'arrêt élevé.

De tels détecteurs sont utilisés, par exemple, dans la fusion de deutérium (DD) ou d'un mélange de  
15 deutérium (D) et de tritium (T) par confinement inertiel à l'aide de laser de puissance. La fusion de ces isotopes de l'hydrogène se produit dans un volume de dimension caractéristique 50  $\mu\text{m}$ . La réaction nucléaire de fusion s'accompagne de la libération d'un  
20 neutron rapide de 14,1 MeV pour un mélange DT ou de 2,45 MeV pour un mélange DD. Les neutrons rapides ont un libre parcours suffisant pour sortir du combustible. L'image neutronique permet de localiser la zone où brûlent les isotopes de l'hydrogène. L'image  
25 neutronique ou l'image gamma sont formées soit par un sténopé, soit par une ouverture codée telle qu'un diaphragme de pénombre ou un anneau. Des détecteurs à forte efficacité de détection et capables de localiser le point d'interaction de la particule sont nécessaires  
30 à l'enregistrement de cette image.

A ce jour, les détecteurs bidimensionnels de

particules ionisantes sont réalisés en assemblant des milliers de fibres à scintillateur plastique, chaque fibre ayant une longueur comprise typiquement entre 1 et 10 cm et constituant un pixel du détecteur. Un tel  
5 détecteur est représenté aux figures 1A et 1B. Un ensemble de fibres 2 à scintillateur plastique sont maintenues dans un cylindre 1. Chaque fibre à scintillateur plastique 2 a un diamètre D sensiblement égal, par exemple, à 1mm.

10 Une fibre à scintillateur plastique est représentée en figure 2. Elle est constituée d'un barreau de scintillateur plastique 3 à haut indice de réfraction (typiquement de l'ordre de 1,6) entouré d'une gaine 4 d'indice optique inférieur (typiquement  
15 de l'ordre de 1,5). Les particules incidentes à détecter P (neutrons, rayonnement gamma) ont une trajectoire parallèle à l'axe de la fibre et déposent leur énergie dans le scintillateur plastique. Il y a création d'ions de recul I et une fraction de l'énergie  
20 déposée est convertie en photons primaires Ph1, puis en photons secondaires Ph2 et tertiaires Ph3. Les photons tertiaires Ph3 constituent une lumière de scintillation visible qui est guidée jusqu'à une extrémité de la fibre où une image est enregistrée à l'aide d'un  
25 détecteur CCD (CCD pour « Charge Coupled Device »). Plusieurs centimètres de fibre sont nécessaires pour détecter efficacement des particules très pénétrantes comme les neutrons rapides.

Pour des longueurs de fibres supérieures au  
30 centimètre, cette technologie limite le diamètre minimal des fibres à environ 0,5 mm.

De plus, il est connu que l'échantillonnage d'une image limite la résolution ultime dans la source à deux fois la taille d'un pixel divisé par le grandissement du système d'imagerie. En l'occurrence, 5 le grandissement d'un système d'imagerie doit donc être de l'ordre de 200 pour obtenir des résolutions spatiales inférieures à la taille de la source, par exemple des résolutions de l'ordre de 5  $\mu\text{m}$ . L'instrument de mesure s'étend alors sur des distances 10 importantes qui peuvent être supérieures à une dizaine de mètres.

Par ailleurs, la réalisation d'un détecteur est obtenue par l'assemblage fastidieux de plusieurs milliers de pixels un à un. Il en résulte des 15 imperfections dans l'arrangement régulier des pixels. De plus, le manque de rigidité des fibres à scintillateur plastique et leur dilatation importante ne permet pas de garantir une colinéarité précise entre chaque fibre.

20 D'autre part, l'interaction des neutrons rapides dans un scintillateur plastique est dominée par la diffusion élastique sur l'hydrogène. Ainsi, les ions de recul I déposent-ils leur énergie sur un cylindre de diamètre typique 1 mm lorsque les particules incidentes 25 (neutrons, rayonnement gamma) ont une énergie de 14,1 MeV. Une autre limitation de la résolution spatiale dans la source est donc la largeur du dépôt d'énergie (diamètre du cylindre) divisée par le grandissement.

30 Ainsi, la technologie de fabrication des détecteurs bidimensionnels selon l'art connu limite-t-

elle les performances des instruments dans lesquels sont implantés ces détecteurs. Par exemple, dans une matrice de fibres à scintillateur plastique de diamètre 0,5 mm, la résolution spatiale du détecteur de neutrons est limitée à 1,4 mm pour des neutrons de 14,1 MeV et à 1 mm pour des neutrons de 2,45 MeV.

L'invention ne présente pas les inconvénients mentionnés ci-dessus.

#### 10 Exposé de l'invention

En effet l'invention concerne un détecteur bidimensionnel de particules ionisantes comprenant une matrice de fibres détectrices, chaque fibre détectrice constituant un pixel du détecteur et comprenant un scintillateur pour émettre une lumière de scintillation, caractérisé en ce que chaque fibre détectrice est constituée d'un capillaire de verre rempli de scintillateur liquide dont la composition chimique est choisie de façon que le libre parcours moyen de photons de scintillation primaire soit négligeable devant le diamètre du capillaire.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture d'un mode de réalisation préférentiel fait en référence aux figures jointes parmi lesquelles :

- la figure 1A représente un détecteur bidimensionnel de particules ionisantes selon l'art antérieur ;
- la figure 1B représente une vue de détail de la figure 1A ;
- la figure 2 représente l'interaction de

particules ionisantes à détecter dans une fibre à scintillateur plastique selon l'art antérieur ;

- la figure 3 représente un détecteur bidimensionnel de particules ionisantes selon un mode  
5 de réalisation préférentiel de l'invention.

Sur toutes les figures les mêmes repères désignent les mêmes éléments.

10 Description détaillée de modes de mise en œuvre de l'invention.

La figure 3 représente un détecteur bidimensionnel de particules ionisantes selon l'invention.

Le détecteur bidimensionnel selon l'invention  
15 comprend une matrice de capillaires 6 remplis de scintillateur liquide. La matrice de capillaires 6 est placée dans une cuve 5. Les capillaires ont, par exemple, un diamètre moyen  $d$  inférieur ou égal à 500  $\mu\text{m}$  pouvant atteindre, par exemple, 20  $\mu\text{m}$ . L'indice de  
20 réfraction du verre des capillaires est, par exemple, de 1,49. Le parallélisme des capillaires est inférieur à 100 micro-radian. La trajectoire des particules incidentes est parallèle à l'axe des capillaires.

Le scintillateur liquide a, par exemple, un  
25 indice de réfraction de 1,57. La composition chimique du scintillateur liquide est choisie pour que les photons de scintillation primaire aient un libre parcours moyen négligeable devant le diamètre du capillaire. Les photons de scintillation primaire  
30 induits dans le solvant ont, par exemple, une longueur d'onde de 300 nm.

Le scintillateur liquide est soit un scintillateur liquide binaire, soit un scintillateur liquide ternaire. Dans le premier cas, le scintillateur liquide comprend un premier composant scintillateur qui absorbe les photons UV de scintillation primaire pour émettre une émission secondaire de plus grande longueur d'onde, par exemple 370 nm. Dans le second cas, le scintillateur liquide comprend, outre le premier composant, un deuxième composant scintillateur qui absorbe l'émission secondaire émise par le premier composant pour émettre à son tour à une longueur d'onde comprise entre 400 nm et 500 nm, par exemple 420nm. Dans les deux cas, l'indice de réfraction du liquide scintillateur et l'indice de réfraction du verre qui constitue le capillaire sont choisis pour guider la lumière de scintillation vers une extrémité de sortie du capillaire.

Le solvant qui compose le capillaire est, par exemple, du PXE (PXE pour phenyl-o-xylylethane). A titre d'exemple non limitatif, le scintillateur liquide binaire a une résolution spatiale de 6  $\mu\text{m}$  et émet à 370 nm et le scintillateur liquide ternaire a une résolution spatiale de 7  $\mu\text{m}$  et émet à 420 nm. Les scintillateurs binaire et ternaire peuvent ainsi être, par exemple, les composants commercialisés respectivement sous les références EJ-399-05C2 et EJ-399-05C1.

Préférentiellement, le scintillateur liquide contient du deutérium. L'utilisation de deutérium permet avantageusement de diminuer d'un facteur 2 la largeur de la zone de dépôt d'énergie du neutron autour



de son point d'interaction. Le liquide peut également contenir une solution de lithium ou d'un élément de masse atomique supérieure au lithium. Par ailleurs, l'émission de scintillation voit son intensité divisée  
5 par le facteur  $e$  ( $e \approx 2,71828$ ) en quelques nano-secondes. Cette propriété permet de sélectionner la bande d'énergie des neutrons par temps de vol. Cette propriété permet également de différencier les neutrons des photons qui accompagnent généralement la production  
10 des neutrons. De par sa nature, le scintillateur binaire présente un temps de montée de quelques dizaines de pico-secondes. Cette propriété est essentielle, par exemple, pour les applications de cinématographie ultrarapide subnanoseconde.

15 La cuve 5 comprend une première paroi 7 munie d'un hublot de verre transparent à la longueur d'onde de scintillation et une deuxième paroi 8, située en face de la deuxième paroi, et faite d'un miroir réfléchissant à cette longueur d'onde. Dans la cuve,  
20 les capillaires sont placés entre le hublot et le miroir et leur axe est perpendiculaire au miroir et au hublot. Les particules à détecter pénètrent dans le détecteur par le miroir. La lumière de scintillation est recueillie par le hublot 7. Cette lumière étant  
25 émise de manière isotrope, la fraction de lumière émise qui part vers le miroir est réfléchiée par celui-ci et renvoyée vers le hublot de sortie.

Sur les parois supérieure et inférieure de la cuve, qui sont des parois parallèles à l'axe des  
30 capillaires, des membranes élastiques respectives 9 et 10 absorbent les dilatations thermiques du

scintillateur.

La matrice de détecteurs présente, par exemple, une section de l'ordre de  $100 \times 100 \text{ mm}^2$  et une épaisseur E qui peut aller de 10 à 50 mm. Elle est réalisée d'un  
5 seul bloc par assemblage multiple de macro faisceaux contenant des faisceaux élémentaires. Cette technique permet de réaliser des détecteurs monolithiques de grande section. La matrice de capillaires est  
10 préférentiellement réalisée sur une épaisseur bien supérieure à l'épaisseur désirée de manière à assurer une bonne colinéarité entre capillaires (par exemple inférieure à 100 pradians).

Un exemple numérique de réalisation d'un détecteur utilisé pour acquérir l'image neutronique  
15 d'une capsule de 1 mm de diamètre, remplie de deutérium et implorée par un laser de 30 kJ est donné ci-après. La matrice de capillaires est un pavé de 100 mm de côté et de 50 mm d'épaisseur. Chaque capillaire a un diamètre de 250  $\mu\text{m}$ . Le scintillateur liquide, d'indice  
20 optique 1,57, contient du deutérium à 98 %. Son efficacité de scintillation est de 80 % par rapport à l'anthracène et sa constante de décroissance est de 3 ns. La cuve, en acier inoxydable, est fermée par un miroir et un hublot en verre. Quatre membranes  
25 élastiques permettent la dilation thermique du scintillateur.

## REVENDICATIONS

1. Détecteur bidimensionnel de particules ionisantes comprenant une matrice de fibres détectrices, chaque fibre détectrice constituant un pixel du détecteur et comprenant un scintillateur pour émettre une lumière de scintillation, caractérisé en ce que chaque fibre détectrice est constituée d'un capillaire de verre rempli de scintillateur liquide dont la composition chimique est choisie de façon que le libre parcours moyen de photons de scintillation primaire soit négligeable devant le diamètre du capillaire (d).

2. Détecteur bidimensionnel selon la revendication 1, caractérisé en ce que le scintillateur liquide est un scintillateur liquide binaire.

3. Détecteur bidimensionnel selon la revendication 1, caractérisé en ce que le scintillateur liquide est un scintillateur liquide ternaire.

4. Détecteur bidimensionnel selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le scintillateur liquide comprend du PXE pour solvant.

5. Détecteur bidimensionnel selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le scintillateur liquide contient du deutérium.

6. Détecteur bidimensionnel selon l'une

quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les capillaires ont un diamètre compris entre 20 et 500µm et une longueur comprise entre 10 et 50mm et en ce que la matrice de capillaires présente une  
5 section sensiblement égale à 100x100 mm<sup>2</sup>.

7. Détecteur bidimensionnel selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les capillaires sont placés dans une cuve  
10 comprenant une première paroi (7) munie d'un hublot de verre transparent à la longueur d'onde de la lumière de scintillation et une deuxième paroi (8) située en face de la première paroi (7) et faite d'un miroir réfléchissant à ladite longueur d'onde, les particules  
15 ionisantes pénétrant dans le détecteur par le miroir.

8. Détecteur bidimensionnel selon la revendication 7, caractérisé en ce que la cuve comprend des parois supérieure et inférieure qui comprennent des  
20 membranes élastiques (9, 10) pour absorber des dilatations thermiques.

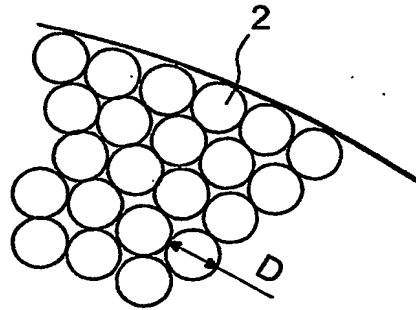


FIG. 1B

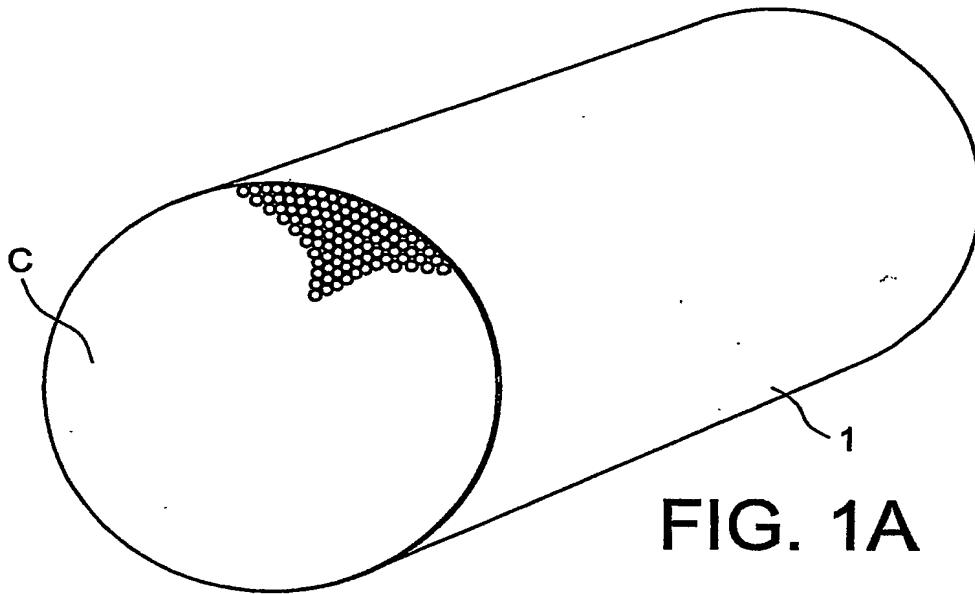


FIG. 1A

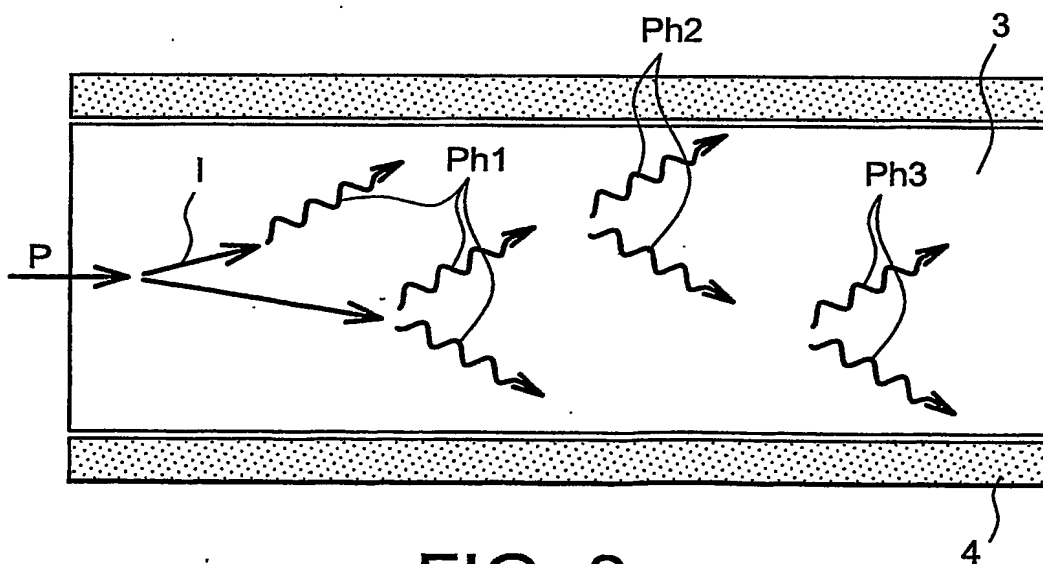


FIG. 2

2 / 2

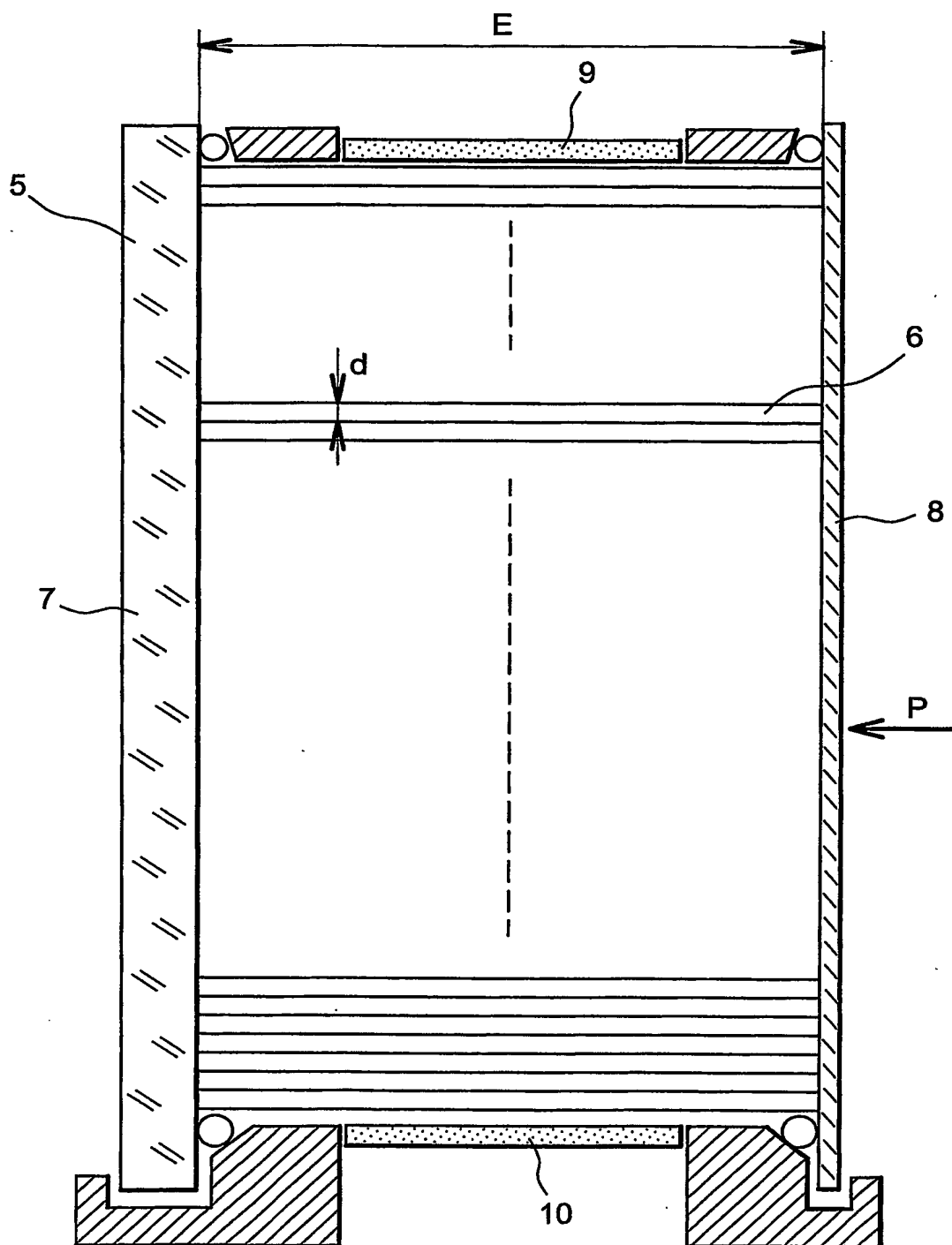


FIG. 3